

基于CSS技术和TOA的室内停车场定位系统

李国良, 丁施健, 王 阳, 孟博元, 孙杭嘉

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] 为了解决大型室内停车场场地复杂、寻车难等问题,提出了一种基于扩频技术的室内停车场车辆无线定位系统,给出了该方案的工作原理、系统设计和实现方案.该系统通过基于CSS技术和信号到达时间差TOA的定位算法进行车辆定位,方便用户快速找到车辆.实验表明,系统定位结果稳定可靠,定位准确,具有一定的应用前景.

[关键词] CSS技术,测距算法,定位

[中图分类号] TN914 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1672-1292(2015)03-0064-06

Parking Location System Based on CSS Technology and TOA Algorithm

Li Guoliang, Ding Shijian, Wang Yang, Meng Boyuan, Sun Hangjia

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: In order to solve the great difficult problem of finding the car and the complex site of large car park, an indoor parking lot's wireless positioning system based on Chirp Spread Spectrum technology is put forward. In this paper, the whole plan is provided, including the working principle, system design and the way to realize it. This system ascertains the position of the car by CSS technology and time of arrival Positioning algorithm in order to improve user's efficiency to find their cars. According to the experimental result, the positioning result is reliable, accurate and stable. What's more, this technology has a certain application prospect.

Key words: CSS technology, distant measurement algorithm, location

随着社会生活水平和经济水平的提高,汽车保有量激增.在大城市的繁华地段,地下停车场面积大,样式千篇一律且无明显的参照物,易造成车主停车难、寻车难等问题.传统的室外GPS定位系统终端成本高、体积大,很难应用于室内定位.针对以上问题,本文提出了基于CSS扩频技术和信号到达时间差TOA算法实现室内停车场车辆无线定位方法.室内定位方法^[1,2]以基于Wi-Fi、ZigBee、UWB(Ultra-Wideband)等定位技术居多,但有的定位结果不精确,且应用成本高昂.2006年,随着IEEE将线性调频扩频技术列为802.15.4a技术标准的底层实现方式之一,CSS技术成为研究实时定位系统新的核心技术.本系统应用CSS技术的测距原理,在停车场范围内,布置基站阵,在每个基站阵中通过移动标签定位算法获得车辆的位置.该系统实现成本较低,系统稳定不易受干扰,维护成本低,定位结果准确,在停车场定位中优势较为明显.

1 定位技术选择

CSS技术即线性调频扩频技术(Chirp Spread Spectrum)^[3].其链路层、控制层和物理层均采用IEEE802.15.4a技术标准并施以扩展,使得该项技术在通讯领域的应用逐渐受到关注.

CSS信号从信号特征的角度上是一种扩频信号.依据扩展频谱方式的不同,扩频通信系统通常可分为以下几种类型:直接序列扩频方式(DS)、跳变频率方式(FH)、跳变时间方式(TH)、线性调频方式(CSS)及以上几种方式的组合.前3种扩频方式的缺点如表1所示.

收稿日期:2015-05-28.

通讯联系人:孙杭嘉,高级工程师,研究方向:嵌入式系统、传感技术应用. E-mail:Sunhangjia@njnu.edu.cn

表1 DS、FH、TH扩频方式的缺点比较
Table 1 The compare of the shortcomings of DS, FH, TH

扩频方式	DS	FH	TH
缺点	受瞄准式单频干扰及远近效应的影响较大,同步要求严格,“远-近”特性差	抗跟踪式干扰能力弱,信号隐蔽性差,抗多频干扰及跟踪式干扰能力有限,快速跳频器设计复杂	需要高峰值功率,需要准确的时间同步,对连续波干扰无抵抗能力

目前,用于无线传感器网络定位的短距离无线定位技术的方式主要有UWB、Wi-Fi、CSS和ZigBee等技术,表2所示为其性能上的比较.综合考量,CSS技术在功率消耗、稳定性和性价比上都有着独特的优越性,因此在无线传感器网络中有广泛的应用前景.

CSS扩频技术最大特征是利用脉冲压缩技术将基带信号进行线性调频后,使其扫过较大的带宽,并通过匹配滤波器,在接收端即可获得较大的处理增益,使得整体功耗较低.

由于脉冲压缩技术具有很好的抗频率偏移特性,并不需要进行频率同步,而传输信号拥有较高的时宽带宽积,因此传输信号的功率谱密度很低,不易对其他现行系统造成干扰,也不易被其他系统所检测.

在脉冲压缩通讯过程中,匹配滤波器分散了干扰信号、多路径信号的能量,但又叠加了有用脉冲的能量,使系统获得较高的信噪比,信号特征更易获取.这些技术特点使得CSS扩频技术应用于无线定位系统具有较明显的优势.

表2 CSS技术与其他通信技术的比较
Table 2 The compare of CSS and other communication technology

特点	CSS	ZigBee	Wi-Fi	UWB
标准	IEEE802.15.4a	IEEE802.15.4	IEEE802.11	IEEE802.15.3a
速率(bps)	125 k~2 M	<200 k	11 M	>100 M
距离(m)	800	200	室内100	10
功耗	特别低	很低	较高	特别低
综合比较	抗噪声,受频率偏移影响小,多径分辨能力较强	速率低,不支持实时复用的接入方式,功率消耗相对较大	距离受限,较昂贵,兼容性差,安全性不可靠	信号功率低,频谱较宽,数据发送速率高,抗干扰能力强,消耗能量低

2 基于接收信号到达时间(TOA)测距

在利用CSS技术实现数据通信的基础上,使用基于TOA^[4]改进的SDS-TWR(Symmetrical Double-Sided Two-Way Ranging)双边双向测距算法测量端点间的距离^[5],其相当于在被定义的时间内进行了两次TOA测量,算法原理图及硬件实现流程图如图1所示.

其中,ANSWER1、ANSWER2分别表示第一次测距阶段和第二次测距阶段;函数NTRXRange()实现测距过程;函数RangingCallback_Rx()实现测距请求数据处理;函数RangingMode()实现测距请求和数据采集的传输;函数RangingCallback_Ack()实现应答数据处理;函数getDistance()实现距离的计算.

SDS-TWR算法和硬件具体实现步骤^[6]如下:

(1)基站从准备状态调用NTRXRange()函数进入测距状态.

(2)NTRXRange()函数通过调用RangingMode()函数向移动端发送测距请求信号并记录当前时间,同时基站状态转换为ANSWER1.

(3)定位标签接收到来自基站的测距请求,调用

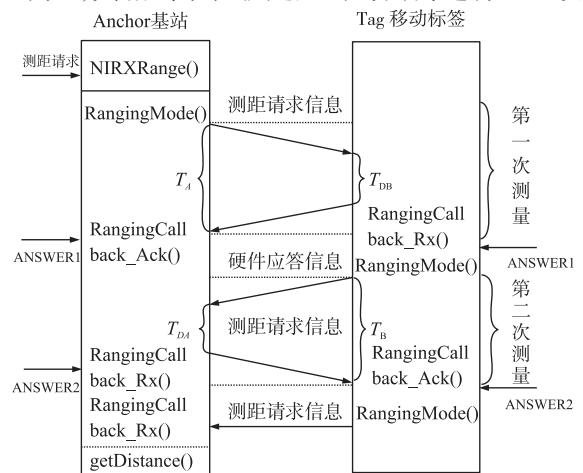


图1 算法原理及硬件实现流程图

Fig.1 Flow chart of algorithm principle and hardware implementation

RangingCallback_Rx()函数,发送硬件应答信号.记录程序处理时间 T_{DB} 并从准备状态转换为 ANSWER1,同时通过调用 RangingMode()函数向基站发送测距请求信号.

(4)基站收到定位标签的硬件测距应答信号后,立即调用 RangingCallback_Ack()函数,停止计时,记当前的读数为 T_A ,并从状态 ANSWER1 转变为状态 ANSWER2. 基站接到标签发来的测距请求后,立即调用 RangingCallback_Rx()函数,发送硬件应答信号.记录程序处理时间 T_{DA} 并从状态 ANSWER2 转换为结束状态.

(5)标签收到基站的硬件测距应答信号调用 RangingCallback_Ack()函数,停止计时,记录当前时间 T_B .将状态从 ANSWER1 转换为状态 ANSWER2,同时调用 RangingMode()函数将之前的时间采集信息反馈给基站.标签状态又重新回到准备状态.

(6)处于结束状态的基站接收到标签发来的反馈数据包后,调用 RangingCallback_Rx()函数将数据取出以备后用,并将基站状态设回准备状态.

(7)NTRXRange()函数通过调用 getDistance()函数将之前得到的时间数据进行整理,根据 SDS-TWR 算法公式: $d = \frac{T_A - T_{DB} + T_B - T_{DA}}{4} * C_{光}$,测得实际距离值.

(8)将此情况放置到拥有至少3个基站和1个移动标签的情况中,按照上述(1)~(7)测量出各基站和移动标签的距离,并结合已知基站的具体坐标依据定位算法得出定位标签的位置坐标,实现测距定位功能.

应用 SDS-TWR 算法不需要两个节点的时钟同步,同时双次测量对结果进行平均处理又减小了因为时钟漂移而导致的距离误差.

3 定位系统设计

3.1 停车场定位原理

汽车入库时领取定位标签,并绑定该车车牌号.汽车驶入停车场某区域后,安装在覆盖区域的基站接收到标签信号,并上传至终端数据管理系统,在终端^[7]进行计算处理后生成位置信息供车主查询,从而完成车辆定位.停车场定位原理如图2所示.

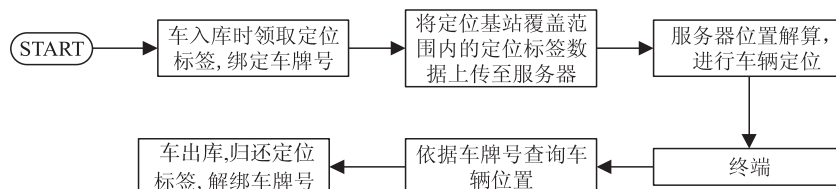


图2 停车场定位原理示意图

Fig.2 Schematic diagram of parking positioning principle

3.2 系统硬件设计

系统定位部分由定位标签、基站、服务器、查询终端等硬件组成,系统拓扑结构如图3所示.定位的核心部分是将停车场划分为若干个基站阵,每个基站阵内布置至少3个已知位置信息的基站,实验中每个基站测距范围在200 m左右,精度为0.6 m.将测得的距离数据上传至服务器,通过改进的三边算法完成定位标签的位置测定,供终端查询.

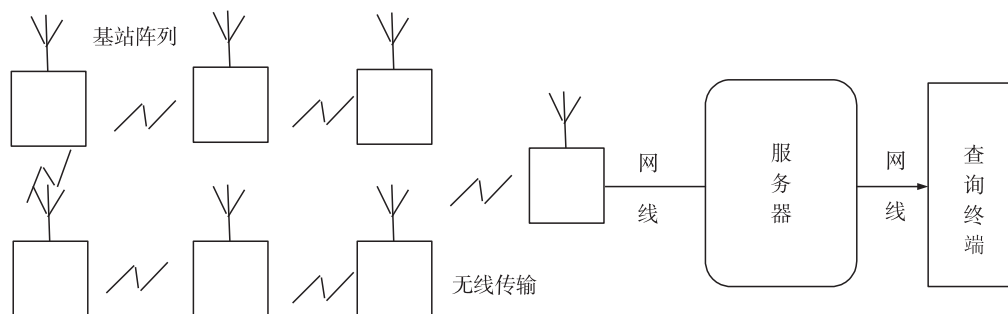


图3 定位系统拓扑结构图

Fig.3 Topological structure diagram of positioning results

普通基站与定位标签结构大体一致,定位标签结构框图如图4(a)所示,主要由 STM32F103CB (MCU)、NanoPAN5375 射频模块^[8]、天线以及电源等模块组合而成,通过射频模块自带的传输协议完成距离的测定和数据的传送。STM32F103CB 微控制器负责定位数据的处理、通信、存储, NanoPAN5375 射频模块采用 CSS 技术完成模拟信号的放大、调制、解调等功能。比较明显的区别在于电压的供电方式,其中定位标签和普通基站通过便捷可重复利用的锂电池供电,而与服务器端连接的基站,如图4(b)所示,则通过开关电源输出稳定的电压,且数据需经过电平转换后才能供网络接口芯片传输。基站与定位标签 Protel 原理图如图5所示。

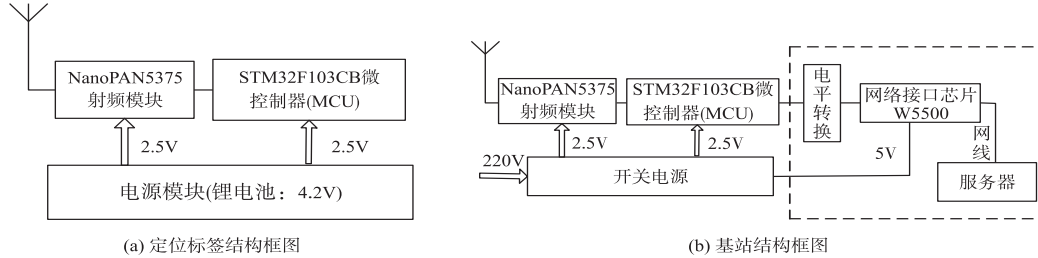


图4 系统结构节点框图

Fig.4 Node block diagram of system structure

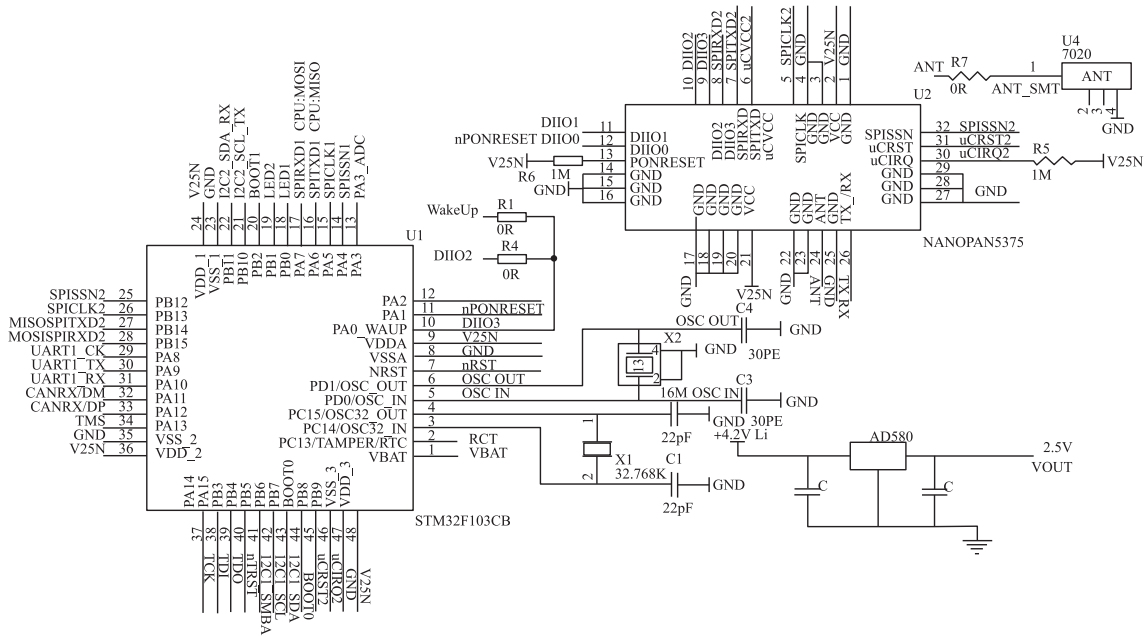
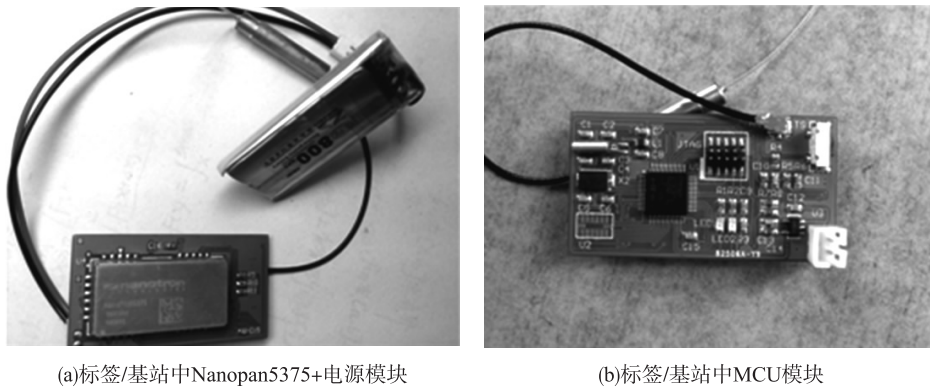


图5 基站与定位标签电路原理图

Fig.5 The circuit principle diagram of base station and locating tag

图6所示为所设计的定位标签的实物图形。



(a)标签/基站中Nanopan5375+电源模块

(b)标签/基站中MCU模块

图6 实验用定位标签的实物图

Fig.6 Physical map of locating tag for experiment

4 试验与结果分析

4.1 定位算法

试验选择一处长宽约为80 m×50 m近似长方形的室内停车场进行测试^[9]. 根据停车场的实际情况(如障碍物的分布)规划出停车场的停车位置区域图如图7所示,图中标出A区-I区的分布情况,每个区域可停放5辆汽车或更多.

每3个区布置一个基站阵,每个基站阵都设置3个基站,这样划分的依据是:一方面由基于TOA的算法原理可知,3个圆相交于一点确定一个位置;另一方面,测试停车场障碍物较多,为避免信号阻隔产生的误差,故划分的区域小,布置的基站多. 依据芯片参数可知,若依据NanoPAN5375芯片理论上的800 m左右的测定范围,由3个基站测定空旷、无障碍物标签的位置是完全可行的.

停车场被划分为若干个区域和基站阵后,每个基站阵的位置被确定,且每个基站阵独立工作,通过改进的三边算法^[10]测出在该基站阵中停放车辆的位置. 该算法核心是通过多次循环,在区域内寻找满足距离条件的坐标.

当汽车驶入如图所示区A的某位置后,定位基站将接收到定位标签的信号,基站阵的3个基站将测量得到的距离值传送给服务器,经由三边算法解读为位置信息,并上传至服务端,供车主在终端查询. 图8显示的是查询界面信息,整个基于CSS技术的定位算法原理框图如图9所示.



图8 查询界面信息显示图

Fig.8 Display of the query interface

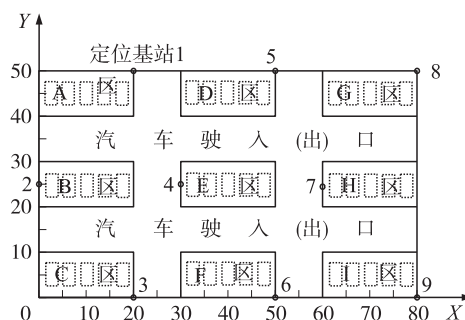


图7 待定位室内停车场示意图

Fig.7 Sketch map of indoor parking

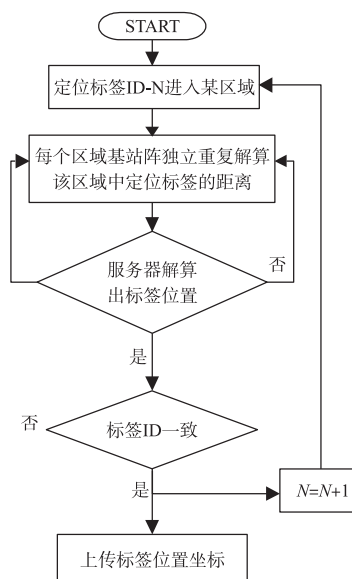


图9 定位算法原理框图

Fig.9 Principle block diagram of localization algorithm

4.2 定位结果分析

该测距信号收发装置在较大的空间内稳定性较好. 将如图7所示的停车区划分成固定的横纵坐标区域,由于测试区域面积较小,测得的距离可能有较大的误差,因而在距离信息转换为坐标后只能得到一个初步的范围(由4个点圈定). 设这4个离散点的坐标为 $(x_i, y_i), i=1, 2, 3, 4$,并假设拟合圆的圆心和半径分别为 $(x_0, y_0), r$,测量点距圆的距离为 d ,则 $d = \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} - r$. 忽略 d 的高次项后得到

$$d = \frac{(x^2 + y^2)}{2r} + b_1x + b_2y + \frac{x_0^2 + y_0^2 - r^2}{2r}$$
. 通过约束条件 $b_1^2 + b_2^2 - 4ac = 1$,使得 $D = \sum_{i=1}^m d_i^2$ 达到最大值,可求出圆心

坐标,即标签坐标 $(x_0, y_0) = (-\frac{b_1}{2a}, -\frac{b_2}{2a})$.

该停车场实验所得数据如表3所示.测距时因停车场东西向的距离较南北向要大很多,故南北向的误差较之东西向要偏大一些.在测距模块和室内坐标划分存在一定偏差的情况下,精度能够控制在1 m左右,基本能够确定车辆位置所在区域和车位.

由于待定位停车场内有多个标签和基站同时工作,且系统在定位过程中易受到区域内其他信号干扰,因此,测量位置总是在实际位置附近“飘动”.为了减小这些信号干扰对于系统定位的影响,系统在测距过程中嵌入卡尔曼滤波算法.卡尔曼滤波算法是一个不断预测、修正的过程,能够有效地控制观测异常和动态扰动异常的干扰,使定位解更能反映目标的真实位置.此外,将数据转换为坐标值,对得到的坐标进行误差拟合后,尽管有个别数据呈现了反向增大的趋势,但仍可以看到误差较之拟合前要平滑不少,数值上也要更接近于既定的坐标.这个优点在数据量较大的情况下更为明显.因而,在停车场车辆较多的情况下整体误差会有较大减少,测距性能也会更加稳定.

表3 停车场实测数据与误差分析

Table 3 Measured data of the parking lot and error analysis

	第一组(标签一)	第二组(标签二)	第三组(标签三)
圆拟合的边界坐标	(45.12 m,28.07 m)	(24.96 m,28.04 m)	(31.65 m,24.76 m)
	(45.12 m,28.09 m)	(24.93 m,28.09 m)	(31.65 m,24.82 m)
	(46.03 m,28.07 m)	(31.86 m,28.07 m)	(32.57 m,24.76 m)
	(46.03 m,28.09 m)	(31.86 m,28.09 m)	(32.57 m,24.82 m)
圆拟合后的标签坐标	(45.58 m,28.07 m)	(28.40 m,28.08 m)	(32.11 m,24.80 m)
实测标签数据	(44.54 m,27.12 m)	(29.12 m,28.09 m)	(32.56 m,24.21 m)
圆拟合后误差	1.42 m	0.72 m	0.74 m
直线拟合后的标签坐标	(45.61 m,27.57 m)	(28.44 m,27.57 m)	(32.14 m,24.29 m)
直线拟合后误差	1.16 m	0.85 m	0.42 m

5 结语

本文依据CSS技术,使用Nanopan5375射频模块,利用SDS-TWR算法,设计并实现了一个适合室内停车场的定位通信系统.基于实验过程和结果分析,硬件设计测算出的位置能够满足实际停车定位的精度需求,且CSS技术实现成本较低,适合室内精确定位需求,具有一定的应用前景.因此,在未来车辆日益增多、找车日益困难的情况下使用CSS技术将会提升效率,提高社会和经济效益.

[参考文献](References)

- [1] Neal Patwari, Alfred O Hero III, Matt Perkins, et al. Relative location estimation in wireless sensor networks[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2003, 51: 2 137-2 148.
- [2] 余芳文,胡旭科. 基于线性调频的 nanoLOC 新技术与应用研究[J]. 信息通信, 2011(2): 4-6.
Yu Fangwen, Hu Xuke. Research on nanoLOC technology and applications[J]. Information & Communications, 2011(2): 4-6. (in Chinese)
- [3] 汪苑,林锦国. 几种常用室内定位技术的探讨[J]. 中国仪器仪表, 2011(2): 54-57.
Wang Yuan, Lin Jinguo. Indoor location technique based on rfid[J]. China Instrumentation, 2011(2): 54-57. (in Chinese)
- [4] Daegun Oh, Myung-kyun Kwak, Jong-Wha Chong. A subspace-based two-way ranging system using a chirp spread spectrum modem, robust to frequency offset[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2012, 11: 1 478-1 487.
- [5] 武霄泳. 基于线性调频信号的无线定位系统设计与实现[D]. 郑州: 郑州大学信息工程学院, 2013.
Wu Xiaoyong. Design and implementation of wireless positioning system based on chirp signal [D]. Zhengzhou: School of

(下转第74页)

- Timoshenko S P, Goodier J N. Theory of Elasticity[M]. 3rd ed. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)
- [2] Gradshteyn I S, Ryzhik I M. Table of Integrals, Series and Products [M]. 6th ed. New York: Academic Press, 1996. (in Chinese)
- [3] Kalker J J. 三维弹性体的滚动接触[M]. 李自立, 译. 成都: 西南交通大学出版社, 1993
Kalker J J. Three-Dimensional Elastic Bodies in Rolling Contact[M]. Li Zili, translated. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1993. (in Chinese)
- [4] 王玥. 送纸胶辊用橡胶材料的开发[J]. 世界橡胶工业, 2006, 33(12): 24-28.
Wang Yue. The development of rubber material in paper feeding[J]. World Rubber Industry, 2006, 33(12): 24-28. (in Chinese)
- [5] 钱进, 刘浩, 徐红春. 超声波双张控制器: 中国, ZL200720046355.X[P]. 2008-08-27
Qian Jin, Liu Hao, Xu Chunhong. Ultrasonic double sheet control: China, ZL200720046355.X[P]. 2008-08-27. (in Chinese)
- [6] 宋钊. 纸板厚度方向的力学模型建立[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 52-55.
Song Zhao. Establishment of mechanical model in the thickness direction of paperboard materials[J]. Package Engineering, 2014, 35(3): 52-55. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

(上接第69页)

- Information Engineering, Zhengzhou University, 2013. (in Chinese)
- [6] 罗健桦, 刘益萍, 肖绵合. 基于CSS技术实时定位系统设计[J]. 科技信息, 2014(3): 5-6.
Luo Jianping, Liu Yiping, Xiao Mianhe. Real time location system design based on CSS technology[J]. Science & Technology Information, 2014(3): 5-6.
- [7] 李林. 智能停车场系统的设计与实现[D]. 大连: 大连理工大学电子信息与电气工程学部, 2009.
Li Lin. The design and implementation of intelligent parking system[D]. Dalian: Faculty of Electronic Information and Electrical Engineering, Dalian University of Technology, 2009. (in Chinese)
- [8] Nanopan. Nanopan5375 module technical specifications[EB/OL]. [2015-04-30]. <http://www.nanotron.com>.
- [9] D'Souza Ivor, Ma Wei, Notobartolo Cindy. Real-time location systems for hospital emergency response[J]. IT Professional Magazine, 2011, 132: 37-43.
- [10] 熊志广, 石为人, 许磊, 等. 基于加权处理的三边测量定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2010, 22: 99-102.
Xiong Zhiguang, Shi Weiren, Xu Lei, et al. Trilateration localization algorithm based on weighted disposal[J]. Computer Engineering & Applications, 2010, 22: 99-102.

[责任编辑: 严海琳]